

学校编码: 10384
学号: 19920101152709

分类号_____密级_____
UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

新型高压微型气泵的理论分析
与仿真研究

Theoretical Analysis and Simulation Study of
New-type High Pressure Mini-pump

侯 凤 媛

指导教师姓名: 胡国清 教授

专 业 名 称: 机械电子工程

论文提交日期: 2013 年 05 月

论文答辩日期: 2013 年 06 月

学位授予日期: 2013 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2013 年 06 月

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

错误！未指定书签。

厦门大学博硕士论文摘要库

错误！未指定书签。

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

错误！未指定书签。

厦门大学博硕士论文摘要库

摘要

随着我国国防事业的迅猛发展，对空气压缩机的技术要求越来越严格，研制高压、微体积、净气体等的压缩机势在必行。本文以新型高压微型气泵为研究对象，应用 MATLAB、Microsoft Excel 软件和通用 CAD/CAE/CAM 软件 SolidWorks、ADAMS 和 HyperWorks 对其进行了仿真分析和研究。主要包括：

(1) 研究压缩机的分类、工作原理与特点；对比分析新旧两种压缩机的异同，得出新型高压微型气泵的凸轮机构较传统曲柄连杆机构结构更紧凑、体积更小型化、效率更高等特点；全面分析新型高压微型气泵的结构、工作原理及各组件功能；建立热力学模型并对其进行分析计算。

(2) 设计并计算新型高压微型气泵最关键的凸轮运动机构，确定采用余弦加速度运动规律的圆柱双工作面凸轮；建立并分析其数学模型、轮廓曲面，得出采用变厚度凸轮结构可避免系统发生噪声或卡死现象；应用 MATLAB 和 Microsoft Excel 软件，建立并分析凸轮机构空间点位置模型并对其进行运动规律仿真分析。

(3) 分析了压缩机及单向阀的工作原理；建立并分析了簧片阀的数学模型，包括进排气过程的流量微分方程、运动微分方程、进排气工作过程微分方程。运用 Microsoft Excel 软件对簧片阀进行结构设计、计算及校核，通过对簧片阀升程、气流平均马赫数、厚度、固有频率等参数的校核计算，验证理论计算的正确性。

(4) 研究新型高压微型气泵受力情况；建立力学模型并应用 Microsoft Excel 软件对其进行仿真分析。验证力学模型的正确性，并得出活塞与凸轮的三种接触类型：持续、交替与共同接触。

(5) 运用 SolidWorks、ADAMS 软件进行压缩机虚拟样机模型的建立和运动系统的运动学仿真分析，验证虚拟样机模型及数学模型正确性。应用 HyperWorks 有限元分析软件对主要组件进行模态分析，验证方案的可行性。提出通过提高活塞小滚轮和凸轮轴安装刚度，可改善组件振动特性的观点。

关键词：空气压缩机 凸轮 气阀 动力学 模态分析

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

As the rapid developing of National Defence System, the Air Compressor Technology is also led to high requirements. It is imperative to study a new-type air compressor which is designed with high pressure, micro volume and clean gas. The new-type air compressor for the aim of this object is studied in the thesis, the MATLAB, Microsoft Excel, CAD/CAE/CAM, SolidWorks, ADAMS and HyperWorks softwares are used to design, research and simulation analysis. The main contents of the thesis are following:

(1) The classification, operating principle and characteristic of air compressor are studied. A contrastive analysis of the old-type and new-type air compressors draws a conclusion that the new-type one has a more compact structure, a smaller size and higher efficiency than the old one. The construction, operating pinciple, main organizations of the new-type compressor are fully analysed. The thermodynamic model is established, analysed and calculated.

(2) The shape features and movement rule of the cam mechanism are designed and calculated. The mathematical model, outline curve of the cam mechanism are established and analysed. A variable-thickness cam with cosine acceleration moment law is determined, which helps to avoid bad noise or locked dead. The position model and moving trochoid of the spatial points of the cam mechanism are built, analysed and simulated with MATLAB and Microsoft Excel softwares.

(3) The working principle of the check valve is in depthly analysed. The mathematical models of leaf valve, including flowate, moving and working process differential equations models are builded and analysed. Microsoft Excel software is applied to do structural design, calculation and verification of leaf valve. The validity of the theoretical analysis is verified after checking calculation about valve lift, Mach number, thickness and inherent frequency.

(4) The mechanical model of the new-type compressor is established and analysed

by using Microsoft Excel software. Conclusions about three contact types of Piston-Cam are reached, including continued , alternated and jointed contact.

(5) SolidWorks and ADAMS software are applied to establish the virtual prototype models and make the kinematical simulations. In order to validate the feasibility of the scheme, modal analysis is done by HperWorks software. Points of view of the vibration characteristic of improving the components are put forward, which are increased the assemble stiffness of small trundle and camshaft.

Key Words: Air Compressor; Cam; Air Valve; Dynamic; Modal Analysis

目 录

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
第一章 绪论.....	1
1.1 概况.....	1
1.1.1 压缩机的分类.....	1
1.1.2 活塞式压缩机概况.....	2
1.1.3 课题来源与研究意义.....	4
1.2 国内外研究现状与发展趋势.....	4
1.2.1 国外研究现状与发展趋势.....	5
1.2.2 国内研究现状与发展趋势.....	6
1.3 研究工具简介.....	8
1.3.1 MATLAB 数值计算软件.....	8
1.3.2 Microsoft Excel 软件.....	9
1.3.3 SolidWorks 机械设计自动化软件.....	10
1.3.4 ADAMS 动力仿真分析软件.....	12
1.3.5 HyperWorks 有限元分析软件.....	12
1.4 课题内容及研究方法.....	13
第二章 新型高压微型气泵的基本结构与工作原理.....	15
2.1 新型高压微型气泵的技术参数.....	15
2.2 新型高压微型气泵的结构.....	15
2.2.1 新型高压微型气泵的组成.....	16
2.2.2 新型高压微型气泵各组件结构与功能.....	16
2.3 新型高压微型气泵的工作原理.....	19
2.4 热力学建模与计算分析.....	19
2.4.1 级数选择与各级压力比确定.....	19
2.4.2 压缩机的转速和行程选择及校核计算.....	20

2.4.3 排气系数.....	22
2.4.4 进排气温度.....	25
2.4.5 气缸行程容积.....	26
2.4.6 气缸直径.....	27
2.4.7 气缸行程容积修正.....	27
2.4.8 效率与功率.....	28
2.5 本章小结	29
第三章 新型高压微型气泵的凸轮机构设计与计算	30
3.1 凸轮机构数学模型研究	30
3.1.1 凸轮机构运动规律方程建立.....	30
3.1.2 凸轮机构坐标系定义.....	33
3.1.3 凸轮机构曲面方程建立.....	34
3.1.4 凸轮机构误差方程建立.....	35
3.2 凸轮机构设计	36
3.2.1 凸轮机构基本参数设定.....	36
3.2.2 凸轮机构参数计算.....	37
3.3 凸轮机构运动规律仿真与分析	40
3.4 本章小结	41
第四章 新型高压微型气泵的气阀组件设计与计算	42
4.1 簧片阀的工作原理	42
4.2 压缩机簧片阀模拟运动分析与数学模型研究	43
4.2.1 基本假设.....	43
4.2.2 压缩机运动的数学模型.....	43
4.2.3 簧片阀进排气过程的流量微分方程.....	44
4.2.4 簧片阀运动微分方程.....	47
4.2.5 簧片阀进排气工作过程微分方程.....	48
4.3 压缩机各级簧片阀结构设计计算	49
4.3.1 簧片阀设计原则.....	49
4.3.2 升程计算.....	50
4.3.3 气流平均马赫数计算.....	51
4.3.4 簧片阀厚度计算.....	53

4.3.5 材料选择与频率计算.....	54
4.4 压缩机簧片阀结构校核计算与改进	55
4.4.1 簧片阀升程的校核.....	55
4.4.2 气流平均马赫数与频率校核及改进.....	57
4.5 本章小结	58
第五章 新型高压微型气泵的动力学特性理论研究与分析	59
5.1 活塞机构力学模型研究	59
5.2 活塞机构受力分析与仿真	60
5.2.1 气体力.....	60
5.2.2 惯性力.....	61
5.2.3 凸轮对滚轮作用力.....	61
5.2.4 轴向力.....	61
5.2.5 侧向力.....	62
5.2.6 活塞与气缸套之间摩擦力.....	62
5.2.7 转矩.....	62
5.3 动力学计算	62
5.3.1 基于 Microsoft Excel 的新型高压微型气泵动力学分析.....	63
5.3.2 动力学计算程序设计.....	63
5.4 动力学计算结果与动态特性分析	67
5.4.1 各级气缸气体压力仿真及分析.....	67
5.4.2 各级气缸气体受力仿真及分析.....	69
5.4.3 轴向力仿真及分析.....	71
5.5 本章小结	73
第六章 新型高压微型气泵虚拟样机的运动学仿真分析	74
6.1 基于 SolidWorks 的新型高压微型气泵虚拟样机建模	74
6.1.1 虚拟样机组件模型建立.....	74
6.1.2 简化模型建立.....	78
6.2 ADAMS 多刚体系统动力学基础	79
6.2.1 ADAMS 多刚体系统概念	79
6.2.2 ADAMS 多刚体系统动力学建模理论	80
6.3 基于 ADAMS 的运动学仿真分析的系统建模.....	81

6.3.1 系统建模环境.....	81
6.3.2 辅助模型建立.....	81
6.3.3 添加约束.....	82
6.3.4 施加载荷.....	83
6.4 基于 ADAMS 的运动学仿真结果与分析.....	83
6.5 本章小结.....	85
第七章 新型高压微型气泵虚拟样机的模态分析.....	86
7.1 模态分析的有限元基本原理.....	86
7.2 模态分析模型的建立.....	87
7.2.1 模态分析的必要性.....	87
7.2.2 组件简化模型的建立.....	87
7.3 基于 HyperWorks 的有限元分析.....	88
7.3.1 活塞组件.....	88
7.3.2 凸轮轴组件.....	101
7.4 本章小结.....	107
第八章 总结与展望.....	108
8.1 总结.....	108
8.2 展望.....	109
附 录.....	110
参 考 文 献.....	112
硕士期间发表的学术论文及取得的成果.....	121
致 谢.....	122

Table of Contents

Abstract in Chinese	错误！未定义书签。
Abstract in English	错误！未定义书签。
Chapter 1 Introduction	错误！未定义书签。
1.1 Overview	错误！未定义书签。
1.1.1 Classification of Compressor	错误！未定义书签。
1.1.2 Overview of Piston Compressor	错误！未定义书签。
1.1.3 Source and Significance of the Project	错误！未定义书签。
1.2 Research Status and Development Trend in China and Abroad	错误！未定义书签。
1.2.1 Research Status and Development Trend in Abroad.....	5
1.2.2 Research Status and Development Trend in China.....	错误！未定义书签。
1.3 Introduction of Research Tools	错误！未定义书签。
1.3.1 MATLAB	错误！未定义书签。
1.3.2 Microsoft Excel.....	错误！未定义书签。
1.3.3 SolidWorks.....	错误！未定义书签。
1.3.4 ADAMS	错误！未定义书签。
1.3.5 HyperWorks	错误！未定义书签。
1.4 Contents and Methods	错误！未定义书签。
Chapter 2 Structure and Operating Principle of the New-type High Pressure Compressor	错误！未定义书签。
2.1 Technical Parameters of the New-type High Pressure Compressor	错误！未定义书签。
2.2 Structure of the New-type High Pressure Compressor	错误！未定义书签。
2.2.1 Components of the New-type High Pressure Compressor	错误！未定义书签。
2.2.2 Structure and Function of the Compressor Components	错误！未定义书签。
2.3 Operating Principle of the New-type High Pressure Compressor	错误！未定义书签。
2.4 Calculation and Analysis of the Thermodynamic Model	错误！未定义书签。
2.4.1 Stages Selection and Pressure Ratio Distribution	错误！未定义书签。

2.4.2 Rotate Speed Selection and Route Checking Calculation	错误！未定义书签。
2.4.3 The Exhaust Ratio	错误！未定义书签。
2.4.4 Temperature of Intake and Exhaust Air	错误！未定义书签。
2.4.5 Stroke Volume of Cylinder.....	错误！未定义书签。
2.4.6 Diameter of Cylinder	错误！未定义书签。
2.4.7 Amendment of the Cylinder Stroke Volume	错误！未定义书签。
2.4.8 Efficiency and Power	错误！未定义书签。
2.5 Summary.	错误！未定义书签。

Chapter 3 Design and Calculation of The Cam Mechanism错误！未定义书签。

3.1 Mathematical Model of Cam Mechanism	错误！未定义书签。
3.1.1 Motion Equation of Cam Mechanism.....	错误！未定义书签。
3.1.2 Coordinate System of Cam Mechanism	错误！未定义书签。
3.1.3 Surface Equation of Cam Mechanism	错误！未定义书签。
3.1.4 Error Equation of Cam Mechanism	错误！未定义书签。
3.2 Design of Cam Mechanism	错误！未定义书签。
3.2.1 Basic Parameters	错误！未定义书签。
3.2.2 Parameter Calculation of Cam Mechanism	错误！未定义书签。
3.3 Motion Simulation and Analysis of Cam Mechanism .	错误！未定义书签。
3.4 Summary.	错误！未定义书签。

Chapter 4 Design and Calculation of the Valves Assembly错误！未定义书签。

4.1 Operating Principle of the Reed Valve	错误！未定义书签。
4.2 Motion Simulation Analysis and Mathematical Model Research of Reed Valve	错误！未定义书签。
4.2.1 Basic Assumptions	错误！未定义书签。
4.2.2 Movement model of the Compressor.....	错误！未定义书签。
4.2.3 The Exhaust Process Flow Differential Equation of Reed Valve	错误！未定义书签。
4.2.4 The Motion Differential Equation of Reed Valve	错误！未定义书签。
4.2.5 The Differential Equation of the Reed Valve about the Intake and Exhaust Process	错误！未定义书签。
4.3 Structure Design and Calculation of Reed Valves	错误！未定义书签。
4.3.1 Design Principles	错误！未定义书签。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库